

ノート~~~~~

静荷重作用下での段ボール箱の含水率 と伸縮率の関係について

波多野 諭志*, 斎藤 勝彦**, 東山 哲***, 中尾 善和***

Relation between Moisture Content and Deformation of Corrugated Box under Static Load

Satoshi HATANO*, Katsuhiko SAITO**, Akira HIGASHIYAMA*** and Yoshikazu NAKAO***

段ボール箱の含水率は温湿度環境によって変動する。含水率が高いほど段ボール箱の強度は小さくなる。段ボールシートの含水率と伸縮率の関係も実験的に明らかになっている。段積み状態で、含水率変動する段ボール箱の変形を予測することができれば非常に有効である。本研究では積重ね荷重試験において、大小の静荷重下で箱伸縮量を比較し、箱伸縮量が上載荷重に依存しないことを明らかにした。また、含水率急変時の段ボールシート伸縮量を評価し、箱の伸縮量がシートの伸縮量から推測できることを示した。

Moisture content of corrugated boxes is drifted by environmental temperature and relative humidity condition. The strength of corrugated box becomes weak in wet condition. The relation between moisture content and deformation rate of corrugated liner has been clarified by the previous works. It is effective to estimate the deformation of corrugated boxes drifting moisture content on stacking condition. In this study, under some sharp changes of moisture content, the stacking test with different loads is carried out to measure each deformation rate and it is clarified the box deformation rate does not depend on the stacking load. Also, the deformation rate of corrugated sheet is measured and it shows the box deformation rate can be estimated from the deformation rate of corrugated sheet by the environmental air condition.

キーワード：包装、段ボール箱、保管、圧縮試験、積重ね荷重試験、含水率

Keywords: Packaging, Corrugated Box, Storage, Compression Test, Stacking Test, Moisture Content

1. 緒言

段ボール箱は含水率によって強度が変化し、含水率が高いほど段ボール箱の圧縮強度が低

くなる¹⁾。段積み状態の段ボール箱の座屈などのリスクを適正に管理するために、段ボール箱の含水率をモニタリングすることが提案

* 神戸大学大学院海事科学研究科博士前期課程

** 連絡者 (Corresponding author) 神戸大学輸送包装研究室 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)
5-1-1 Fukaeminami, Higashi-nada, Kobe, 658-0022 Japan
TEL: 078-431-6341, Email: ksaito@maritime.kobe-u.ac.jp

*** レンゴー (株)

されているが、含水率の変化によって箱が潰れていく状況が正確に予測できれば、より有効な管理が可能となる。これまで著者ら²⁾は、積重ねられた段ボール箱の含水率が安定している場合、含水率が高いほど圧縮変形速度が大きくなることを明らかにしてきた。また、段ボールの含水率の急変にともなう膨張・収縮³⁾によって、静荷重を加えた段ボール箱も伸縮することを実験的に確かめた。

しかし、静荷重の大きさと段ボール箱の伸縮量の関係については明らかになっていない。そこで本研究では、含水率が急変するときの段ボール箱に異なる静荷重を加え、積載荷重が伸縮挙動にどのように影響するかを検討する。また、含水率変化にともなう段ボールシートの伸縮率と、静荷重を加えて含水率を急変させたときの段ボール箱の伸縮率を比較する。

2. 積重ね荷重試験

2.1 試験方法

積重ね荷重試験は恒温恒湿室((株)エスベック TBL-2HW6P2A)の中で行い、単体の0201形段ボール箱に重錘を上載した後の圧縮変形量を計測(圧縮方向を正と定義)している。Fig.1は、積重ね荷重試験の様子である。ひとつの段ボール箱(Fig.1奥側)に5kgの亚克力製平板を、もうひとつの段ボール箱(Fig.1手前側)には20kgの鉄製平板を載せた上に重錘6個(1個5kg)を段ボール箱が不等沈下しないように均等に配置し、段ボール箱中央部(平板のセンター)の圧縮変形量

をレーザ変位計((株)キーエンス LK-G155)により計測している。ここで、亚克力と鉄ではレーザ光の反射率が異なるため、レーザ照射位置には黒色ビニールテープを貼付けている。また通常、0201形段ボール箱は、内フラップと外フラップを同じ位置の罫線で折り曲げて組み立てるため、天面および底面には歪みがある。そのため、荷重を加えた直後は、試料ごとに変形量のばらつきが生じやすい。そこで、ここでは重錘を載せ終えて10分後の圧縮変形量を基点としている。さらに、段ボール箱から切り出した12枚の段ボールシート(縦平均287mm/横平均287mm/絶乾平均質量37.4g:6枚、縦平均292mm/横平均180mm/絶乾平均質量23.9g:6枚)の重量を試験中2秒毎に汎用電子天びん((株)エー・アンド・デイ GX-2000)にて自動計測している。また試験終了後、105℃に設定した恒温器(パーフェクトオープン)((株)エスベック PS-242)によって段ボールシートを絶乾させ、その重量を高精度電子天びん((株)新光電工 HG-2000)にて計測している。よって、試験中に自動計測された試料の重量と絶乾重量の差を試験中の試料の含水率とみなし、時々刻々の含水率を評価している⁴⁾。さらに恒温恒湿室内中央部の温湿度をコンパクトロガー((株)グラフテック Petit LOGGER GL100-WL)の温湿度センサ((株)グラフテック GS-TH)より測定している。なお、試料として用いた段ボール箱(内フラップ固定空箱)は、内寸法302×202×303mmでCフルート、裏表ライナと中しんの坪量はそれぞれ

160g/m²、120g/m²で、温湿度標準状態（23℃ 50%）における圧縮強度（10回の静圧縮試験による計測値）は125.7kgfである。また、恒温恒湿室の空調の風が直接試料に当たることによる電子天びん測定値の変動を避けるため、試料上方に風防を設置している。



Fig.1 Equipment of Stacking Test

2.2 試験結果

恒温恒湿室の設定温度を 23℃一定とし、設定相対湿度を 2 時間毎に 50%と 70%の交互に急変させた時の室内相対湿度と段ボール含水率の測定結果を Fig. 2 に示す。これより、急変する相対湿度に含水率が追従していることが分かる。

上載荷重が 50kg の場合と 5kg の場合における湿度急変時の圧縮変形量を Fig. 3 に示す。相対湿度が 50%から 70%へ切り替え(360 分, 600 分, 840 分, 1080 分, 1320 分)後の約 1 時間は、圧縮変形量が急激な負の傾きを示している。また、相対湿度が 70%から 50%へ切り替え (240 分, 480 分, 720 分, 960 分, 1200 分) 後の約 1 時間は、圧縮変形量が急激な正の傾き

を示している。このことは、含水率が急上昇すれば段ボール箱は膨張し、急低下すれば収縮することを意味する。また、荷重積載後 240 分以降の湿度急変による段ボール箱の膨張・収縮の振幅は、上載荷重の大きさに依存していない。

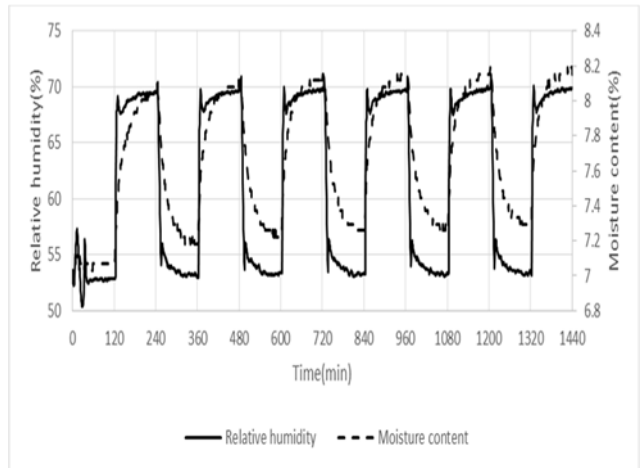


Fig.2 Drifted Moisture Content Changing by Relative Humidity

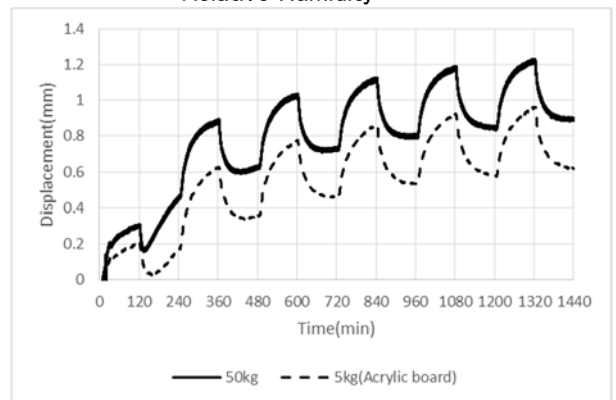


Fig.3 Time Series of Box Deformation Drifting Moisture Content

3. 段ボールシート伸縮試験

3.1 試験方法

試験試料には、圧縮試験に用いた段ボール箱と同ロットの段ボール箱 3 箱の側面及びつ

ま面を切抜いた 12 枚の段ボールシートを用いている。試験には小型恒温恒湿器 (Fig. 4, 株式会社エスベック PR-4KP) を用い、Table 1 に示した各調湿条件にて 24 時間以上保管した後、シート幅 (C D : Cross Direction : 抄紙機におけるライナの進行方向と直交する方向) 方向の寸法と、重量を汎用電子天びん (株式会社エー・アンド・デイ GX-2000) により測定する。このとき、寸法を測定する際は Fig. 5 のようにシート端から 3cm 内側の部分にノギスの先端をあてて読み取っている。さらに、すべての測定が終了した後、105℃に温度が設定された恒温器 (パーフェクトオープン) (株式会社エスベック PS-242) で絶乾させた後、寸法、重量を測定し、調湿条件で測定された値との差を絶乾時の値で除すことにより含水率及び伸び率を評価している。

Table 1 Setting Air Condition and Estimated Moisture Content Rate of Corrugated Sheets

No.	Setting air condition	Estimated moisture content rate
1	40℃/30%RH	5～6%
2	23℃/50%RH	7～8%
3	30℃/70%RH	9～10%
4	30℃/80%RH	10～11%
5	30℃/90%RH	11～12%
6	Perfect dry on 105℃	0%



Fig.4 Setting Corrugated Sheets in Air Conditional Chamber

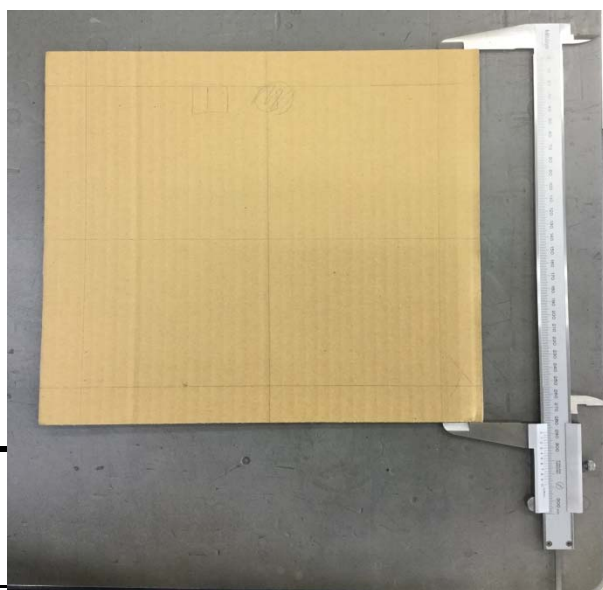


Fig.5 Measuring Length of Corrugated Sheet Cross Direction

3.2 試験結果

段ボールシートの伸び率と含水率の関係を Fig. 6 に示す。図中のすべての試験結果 (プロット) から最小二乗法によって得られた近似直線の傾きは 0.117 である。これは含水率が 1%上昇すると段ボールシートが 0.117%伸

長することを意味する。

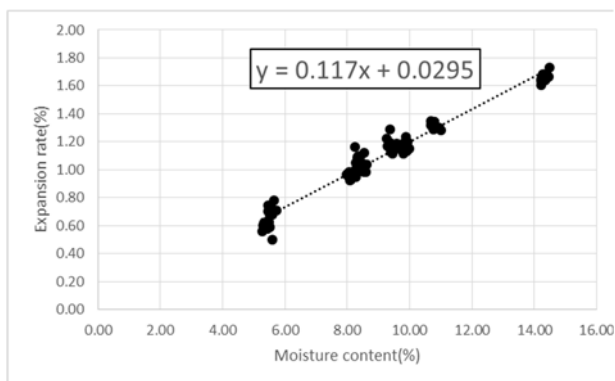


Fig.6 Expansion Rate vs Moisture Content of Corrugated Sheet

4. 含水率急変による段ボール箱の膨張と収縮

一般に段ボールライナは、含水率が高くなると原紙の寸法が大きくなることが知られている³⁾。伸縮が特に顕著に表れるのはCD方向であり、ライナの伸縮が段ボールシートの伸縮及び段ボール箱の膨張・収縮に大きく影響すると考えられる。一方、Fig. 3 に示したように、段ボール箱の膨張・収縮の振幅は、上載荷重の大きさに依存しない。そこで、ここでは段ボール箱及び段ボールシートの伸縮量と原寸から、含水率変化に対する伸縮率の変化を説明することを試みる。

段ボール箱の伸縮と段ボールシートの伸縮を比較するため、Fig. 7 に示すように伸縮振幅値 (Difference) を算出した。ここに伸縮振幅値とは、含水率が急変する時刻における変形値と、その時刻の1時間後及び1時間前における変形値の平均値との差である。その結果、伸縮振幅値の平均は 0.373mm であり、

段ボール箱の高さが 303mm であることより、含水率急変時の段ボール箱伸縮率振幅は 0.123% となる。また、Fig. 2 で示した含水率の変動をみると、含水率急変時の含水率は、設定湿度 50% のときの平均値が 7.24%、設定湿度 70% のときの平均値が 8.15% である。よって急変させている含水率の振幅値は 0.91% であり、含水率が 1% 急変するときの段ボール箱の伸縮率は、0.135% となる。一方、3.2 の結果より、段ボールシートの含水率 1% 変化に対する伸縮率は 0.117% である。従って、含水率が急変する段ボール箱の伸縮量の 87% が段ボールシートの伸縮量から説明できる。つまり、含水率急変時の段ボール箱の伸縮量は、段ボールシートの伸縮量により予測可能であることが分かる。

5. 結言

本研究より、静荷重作用下で含水率が急変する段ボール箱の伸縮量は、上載荷重に依存せず、段ボールシートの伸縮量により予測可能であることが明らかになった。

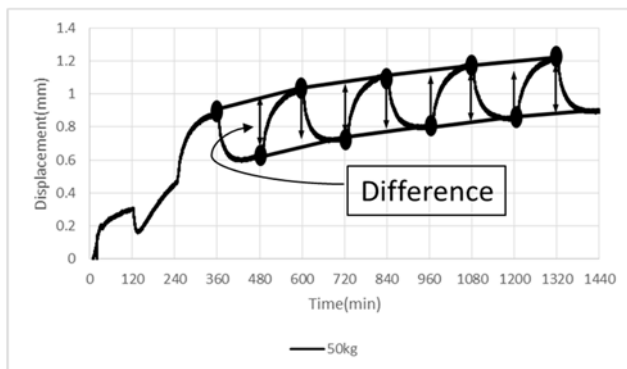


Fig.7 Amplitude of Box Deformation Drifting Moisture Content

積重ね荷重試験では、重錘積載直後の圧縮変形量が試験ごとに大きくばらつく。またここでは、2 時間ごとに設定相対湿度を急変させているが、段ボールの含水率が湿度に完全に追従しきっているとは断定できない。ここで明らかにした段ボール箱の含水率急変にともなう伸縮挙動は、限定的な条件でかつ数少ない試験結果より考察したものである。今後は、様々な負荷重量や含水率の条件の下での試験を続行していく必要がある。

＜引用文献＞

- 1) 五十嵐精一、” 段ボール包装技術実務編”、日報出版、p. 399 (2012)
- 2) 波多野諭志、斎藤勝彦、東山哲、日本包装学会、第 25 回年次大会研究発表会予稿集、38 (2016)
- 3) 前出 1)、p. 389
- 4) 中尾善和、東山哲、日本包装技術協会、第 53 回全日本包装技術研究大会予稿集、270 (2015)

(原稿受付 2017 年 1 月 6 日)

(審査受理 2017 年 3 月 7 日)